Управление наукой и наукометрия. 2024. Т. 19, № 1
Science Governance and Scientometrics. 2024;19(1)
ISSN 2686-6706 (print), ISSN 2686-6714 (online)

ИНТЕРВЬЮ

INTERVIEW

Интервью / Interview
https://doi.org/10.33873/2686-6706.2024.19-1.200-215

Интервью с Алексеем Ивановичем Боровковым — проректором по цифровой трансформации Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ), руководителем Научного центра мирового уровня СПбПУ «Передовые цифровые технологии», Передовой инженерной школы СПбПУ «Цифровой инжиниринг»

Interview with the Alexey I. Borovkov, Vice-Rector for Digital Transformation at Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU), Head of SPbPU's World-Class Research Centre "Advanced Digital Technologies", SPbPU Advanced Engineering School "Digital Engineering"



— Алексей Иванович, хотелось познакомить читателей нашего журнала с Вашими передовыми разработками, с результатами работы Научного центра мирового уровня «Передовые цифровые

технологии», остановиться на вопросах использования цифровых технологий для достижения задач научно-технологического развития. Инновационная деятельность, наука, исследования, технологии — как они сегодня взаимосвязаны?

— Сегодня — как, впрочем, и во все времена, но в последние годы особенно — заявлен четко акцентированный, ключевой запрос государства на обеспечение научного, технологического, экономического, политического, когнитивного суверенитета и государственной безопасности Российской Федерации.

Понятно, что решение подобных задач не может быть делегировано какому-то одному ведомству, какому-то одному сектору экономики. Сама формулировка озвученных целей предполагает синергию усилий академических и отраслевых институтов, университетов, корпораций и высокотехнологичных компаний, общественных и государственных институтов развития.

В соответствии с этими задачами уже не один год в нашей стране ведутся серьезные преобразования, с этим связаны реформы системы науки, высшего и профессионального образования, Российской академии наук и цифровая трансформация экономики, в первую очередь промышленности, финансового сектора и медицины.

На достижение этих целей направлен целый ряд федеральных программ и национальных инициатив, в их числе Национальная технологическая инициатива (НТИ), Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации (СНТР), Концепция технологического развития Российской Федерации (КТР) до 2030 года, национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации», национальный проект «Наука и университеты», федеральный проект «Передовые инженерные школы», федеральный проект «Платформа университетского технологического предпринимательства» и многие другие. Поддержка государством участников этой большой общей работы действительно беспрецедентная.

Подчеркну, речь идет именно об общей системной работе, которая при этом, несмотря на масштабность задач, имеет вполне определенные целевые показатели, индикаторы эффективности и приоритеты. Например, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, являющийся исполнителем по многим важнейшим госпрограммам, стал инициатором и координатором консорциума Научного центра мирового уровня (НЦМУ) «Передовые цифровые технологии», который ведет работу по первому приоритету СНТР — по 35 тематикам в рамках четырех крупных направлений, определенных стратегическими государственными документами как приоритетные: это передовые цифровые технологии, искусственный интеллект, роботизированные системы, материалы нового поколения и аддитивные технологии.

В рамках деятельности НЦМУ мы имеем возможность заранее прорабатывать научную составляющую актуальных для промышленности НИОКР, ведь сами промышленные предприятия зачастую не имеют ресурсов — ни кадровых, ни инфраструктурных, ни финансовых — для проведения фундаментальных проблемно-ориентированных исследований, опережающих прикладных исследований и разработок.

Так, например, в научно-исследовательской лаборатории «Технологии материалов и изделий электронной техники» нашего НЦМУ разработан импортозамещающий технологический комплекс для создания упорядоченных наноструктур, на основе которых возможно изготовление ряда перспективных полупроводниковых приборов. Результаты этого исследования могут применяться для решения широкого спектра задач: для радиолокационного оборудования, производства солнечных панелей, наконец, для медицинской техники. Это один из примеров отклика науки на потребность отечественной микроэлектроники в импортозамещающих решениях.

Другой пример: специалисты НЦМУ СПбПУ разрабатывают цифровой двойник малоразмерного турбовинтового двигателя CML-180/240, который по техническим характеристикам сможет заменить широко используемые сегодня в беспилотниках и легкомоторных самолетах иностранные поршневые двигатели. Для НЦМУ это инициативный проект: разработка двигателей для беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) сегодня — одна из приоритетных задач в достижении технологического суверенитета нашей страны. В Российской Федерации утверждена Стратегия развития беспилотной авиации, среди ключевых направлений которой — разработка, стандартизация и серийное производство отечественных беспилотных авиационных систем, а также подготовка кадров, фундаментальные и перспективные исследования в этой области.

Экосистема технологического развития СПбПУ вносит существенный вклад в реализацию этих Стратегий. НЦМУ «Передовые цифровые технологии» ведет фундаментальные проблемно-ориентированные исследования по первому приоритету СНТР, связанному с передовыми цифровыми и производственными технологиями, а также в сфере двигателестроения и авиастроения, а Передовая инженерная школа (ПИШ) СПбПУ «Цифровой инжиниринг» сконцентрировала свои усилия на создании и развитии российской цифровой платформы в целях оптимизации методик проектирования беспилотных авиационных систем, фактически на развитии нашей Цифровой платформы CML-Bench® для цифрового проектирования и «цифровой сертификации» БПЛА разных типов. Конечно же, ПИШ сфокусирована на подготовке высококвалифицированных инженерных кадров для высокотехнологичных отраслей промышленности. Это позволит нам предложить нашим индустриальным партнерам комплексные разработки по сверхактуальному и востребованному направлению БПЛА в высокой степени готовности.

Это пример нашей внутриуниверситетской кооперации. Но государственные программы стимулируют быстрое формирование распределенных проектных команд, междисциплинарных проектных консорциумов, которые, объединяя научно-технологические заделы, ресурсы и компетенции, также способны в кратчайшие сроки получать комплексный результат: проводить фундаментальные проблемно-ориентированные исследования, разрабатывать и передавать промышленности технологии разработки и производства, транслировать полученные компетенции в рамках новых образовательных программ и курсов повышения квалификации для индустриальных партнеров.

Вот один из примеров: в 2020 году СПбПУ и Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова за несколько месяцев реализовали совместный пилотный проект в области создания композиционных материалов нового поколения. В том же году мы подписали соглашение о создании Университетского зеркального инжинирингового центра компетенций «Новые производственные технологии «Эльбрус», в рамках которого провели ряд исследований и получили результаты — образцы термопластичных композиционных материалов, которые прошли испытания в Роскосмосе. В 2022 году в КБГУ был открыт Центр передовых материалов и технологий, который позволяет осуществлять уже полный инновационный цикл: от синтеза полимера и создания композиционного материала до переработки его в изделие и выполнения комплексных испытаний эксплуатационных свойств. Уже разработана линейка отечественных суперконструкционных полимеров и композитов для применения в аддитивных технологиях, по заказу ПАО «Иркут» (ОАК / ГК «Ростех») разработаны композиты для 3D-печати узлов системы кондиционирования воздуха магистрального самолета МС-21. На данный момент в Центре формируется банк экспериментальных данных о физико-механических свойствах суперконструкционных полимеров и композитов на их основе, который является базой для создания математических и компьютерных моделей, их последующей валидации путем сравнения численных и экспериментальных результатов, разработки цифровых двойников материалов совместно с ПИШ СПбПУ.

В ПИШ СПбПУ впервые в России разработана опытно-промышленная технология изготовления филаментов (материал в виде нити, используемый для 3D-печати) из непрерывного углеродного волокна на основе термопластов. Филамент обладает уникальными по сравнению с другими применяемыми в 3D-печати материалами физико-механическими свойствами и применяется в первую очередь в ракетно-космической и авиационной отрасли, а также в двигателестроении. Разработка осуществлялась по заказу Композитного дивизиона ГК «Росатом».

Наконец, мы с КБГУ разработали сетевую магистерскую программу «Механика полимерных композиционных материалов», обучение по которой началось в сентябре прошлого года, и студенты первого года магистратуры ПИШ СПбПУ уже прошли стажировку в КБГУ.

Именно так, в синергии и конвергенции науки, промышленности, образования, по нашему представлению, и должна вестись системная работа для решения обозначенных государством приоритетных задач.

— Вы входите в президиум экспертного совета для проведения научно-технической экспертизы результатов реализации соглашений между Правительством Российской Федерации и заинтересованными организациями в целях развития высокотехнологичных направлений, возглавляете Комитет по научно-технической экспертизе реализации дорожных карт «Новое индустриальное программное обеспечение» и «Новое общесистемное программное обеспечение», входите в президиум Научно-технического совета

при президиуме Правительственной комиссии по вопросам развития беспилотных систем. Как Вы оцениваете современный этап технологической модернизации экономики нашей страны, цифровой трансформации отдельных ее отраслей?

— Чтобы говорить о нынешнем этапе, нужно от чего-то отталкиваться. Если не уходить слишком далеко в историю и взять, скажем, последнее десятилетие, то в 2014 году точкой отсчета можно назвать Послание Президента России Федеральному собранию 4 декабря, в котором Национальная технологическая инициатива была обозначена в качестве одного из приоритетов государственной политики. Если говорить о промышленности, то это был сигнал — в первую очередь высокотехнологичной промышленности, университетам и технологическим предпринимателям — к прорыву, который позволит вывести Россию в пятерку ведущих экономик мира. С технологической точки зрения отчасти это было реакцией на реализуемую на Западе, прежде всего в Германии, «Индустрию 4.0» — национальную стратегическую инициативу правительства ФРГ по развитию высоких технологий и утверждению новой парадигмы промышленного развития в целом. Аналогичные национальные программы были приняты во многих странах, например, в Японии, в США, в Китае. Очень скоро стало ясно, что новая промышленная революция не просто на подходе — она уже «перепрыгивает» через тех, кто оказался не готов к самым серьезным переменам, называемым «цифровой трансформацией».

Поскольку Инжиниринговый центр СПбПУ тесно взаимодействовал с ведущими зарубежными высокотехнологичными компаниями, мы имели возможность видеть эти перемены изнутри и, выполняя инжиниринговые проекты по заказам наших тогдашних зарубежных партнеров, в определенной степени были участниками этих перемен. Мы наблюдали, как стремительно меняются производственные и бизнес-процессы высокотехнологичных компаний, как радикально они переходят в «цифру», какие появляются новые инструменты, как смещается центр тяжести в глобальной конкуренции на этап разработки, какие требования к инженерам нового поколения диктует этот динамичный рынок.

Благодаря этому опыту мы были готовы к переменам и приняли самое активное участие в реализации НТИ по направлению «Технет» (передовые производственные технологии). Старт нового направления «новые производственные технологии» произошел в сентябре 2014 году на заседании президиума Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России. На этом заседании и в рамках «Технета» мы предложили концепцию «Фабрик Будущего»: Цифровых, «Умных» и Виртуальных фабрик, делились опытом и компетенциями, сформированными в результате выполнения проектов с применением передовых цифровых и производственных технологий, развивали собственные цифровые инструменты и платформенные решения. Стоит вспомнить проект «Кортеж» (официально — «Единая модульная платформа»): сколько экспертов было уверено тогда, в 2014 году, что разработку семейства автомобилей представи-

тельского класса невозможно осуществить в такие сжатые сроки и с таким ограниченным бюджетом. Однако автомобили Aurus не просто появились на свет, они доказали, что являются по-настоящему лучшими в своем классе. А ведь именно в рамках этого проекта по заказу головного исполнителя ФГУП НАМИ мы выполняли разработку и оптимизацию кузовной части автомобилей на основе нашей собственной Цифровой платформы разработки и применения цифровых двойников CML-Bench®. Результат известен — эффективность разработки была подтверждена результатами натурных испытаний седана на независимом полигоне в Берлине и затем в России: с первых же попыток промышленный образец автомобиля продемонстрировал соответствие необходимым мировым требованиям к пассивной безопасности.

В начале 2017 году на заседании президиума Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России, которое тогда провел Председатель Правительства Д. А. Медведев, была утверждена дорожная карта (план мероприятий) НТИ «Технет» по развитию кросс-рыночного, кросс-отраслевого направления «Передовые производственные технологии». Дорожная карта была призвана обеспечить конкурентоспособность отечественных компаний на рынках НТИ и в высокотехнологичных отраслях промышленности. В это время мы уже активно и успешно применяли передовую технологию разработки «цифровых двойников» при реализации наших инжиниринговых проектов, примерно в это же время стал звучать и термин «цифровизация».

Однако, если говорить откровенно, даже тогда — а это совсем недавно, лет 5—7 назад — по мнению многих, вся эта глобальная трансформация оставалась абстракцией: «цифровизация» сводилась к сканированию чертежей, максимум — к применению CAD-систем и созданию 3D-моделей. «Цифровые фабрики», «цифровые испытания», «цифровые двойники», «цифровая сертификация» — все это казалось слишком футуристичным, технологиями из далекого будущего. Понятно, появилось и много имитаторов, которые заявляли о разработке «цифровых двойников» всего подряд — от целого завода или даже города до человека. Все это, конечно, не добавляло доверия к передовым цифровым технологиям. Причем примерно в это же время, в 2017—2018 годах, технология Digital Twin занимала максимально высокие позиции на кривой Гартнера (кривая зрелости технологий, или «кривая хайпа» компании Gartner). Прогноз Gartner утверждал, что к 2023—2028 годах технология цифровых двойников пройдет этап хайпа, выйдет на «плато продуктивности» и займет достойное место среди передовых цифровых и производственных технологий, определяя ключевые конкурентные характеристики высокотехнологичных изделий, технических и киберфизических систем. Этот прогноз во многом оправдался. К сожалению, в то время российские разработчики и производственники лишь начинали говорить на одном профессиональном языке.

И здесь я хотел бы отметить следующий важный этап. В 2019 году госкорпорации «Росатом» и «Ростех» были определены ответ-

ственными исполнителями в разработке дорожной карты развития «сквозной» цифровой технологии «Новые производственные технологии», которая проводилась в рамках реализации федерального проекта «Цифровые технологии» программы «Цифровая экономика». СПбПУ стал победителем конкурса на разработку этой дорожной карты. Мы провели масштабное анкетирование и несколько стратегических сессий с участием экспертов практически из всех отраслей промышленности: автомобилестроения, двигателестроения, машиностроения, авиастроения, судостроения, представителей ведущих НИИ и университетов, институтов развития — всего участвовало более 230 экспертов из более чем 160 организаций.

В числе барьеров применения новых производственных технологий эксперты назвали в первую очередь нехватку квалифицированных кадров, недостатки системы инженерного образования. На втором месте оказались устаревшие бизнес-модели, стандарты и нормативно-правовое обеспечение. При этом в числе приоритетных потребностей в анкетах значились в первую очередь математическое моделирование и цифровой инжиниринг, цифровые платформы для инжиниринга и производства. Собственно, именно это и стало предметом пристального внимания со стороны Правительства и всего экспертного сообщества в последующие годы. Вот факты:

В 2021 году в России — впервые в мире! — разработан и утвержден Росстандартом системообразующий для высокотехнологичной промышленности нормативный документ, сфокусированный на создании изделий с помощью технологии цифровых двойников: национальный стандарт ГОСТР 57700.37–2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения», который вступил в силу с 1 января 2022 года. Разработчиками стандарта выступили специалисты СПбПУ и РФЯЦ-ВНИИЭФ. Важно отметить, что этот стандарт послужил фундаментальной основой для разработки следующего важного стандарта — «Цифровые двойники авиационных газотурбинных двигателей». В ноябре 2023 года с первого же представления, ввиду особой значимости разработанного документа, российский ГОСТ «Цифровые двойники изделий» после рассмотрения со стороны китайских экспертов из гражданского авиастроения был официально включен в перечень взаимно признаваемых стандартов между Китайской Народной Республикой и Российской Федерацией и переведен на китайский язык. Безусловно, это большое достижение России.

В 2022 году Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ совместно с Академией стандартизации, метрологии и сертификации выполнил работу «Анализ барьеров, возникающих при реализации передовых производственных технологий, и разработка предложений по их снижению (преодолению)», в рамках которой были разработаны проекты 7 нормативных правовых актов.

В том же году в рамках 42 стратегических инициатив, утвержденных Правительством РФ, Минобрнауки России начало реализацию федерального проекта «Передовые инженерные школы», направленного на решение фронтирных инженерных задач и подготовку квалифицированных инженерных кадров для высокотехнологич-

ных отраслей экономики. На конкурсной основе было отобрано 50 передовых инженерных школ, в создании и развитии которых принимают участие более 160 высокотехнологичных корпораций и компаний, которые формируют перечни фронтирных инженерных задач, участвуют в создании образовательных программ магистратуры, программ ДПО, а также в формировании научно-технологических образовательных пространств («инженерных коворкингов»).

В 2023 году эксперты Инфраструктурного центра «Технет» СПбПУ совместно с законодательной рабочей группой «Технет», Академией стандартизации, метрологии и сертификации, АНО «Платформа НТИ» и ответственными федеральными органами исполнительной власти работали над предложениями в текст дорожной карты по совершенствованию законодательства и устранению административных барьеров в целях обеспечения реализации НТИ по направлению «Технет» (передовые производственные технологии). Ожидается, что документ будет утвержден Правительством в этом году.

7 ноября 2023 года Председатель Правительства РФ М. В. Мишустин подписал распоряжение № 3113-р, которым утверждено стратегическое направление в области цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности. В этом распоряжении среди терминов, впервые введенных в нормативных правовых актах, представлено разработанное и применяемое с 2014 года специалистами Инжинирингового центра СПбПУ определение «цифровой сертификации» как специализированного бизнес-процесса, основанного на цифровых (виртуальных) испытаниях, целью которых является прохождение с первого раза комплекса натурных, сертификационных и прочих испытаний.

В том же 2023 году были приняты две дорожные карты: «Новое индустриальное программное обеспечение» и «Новое общесистемное программное обеспечение». Роль экспертной организации выполняет СПбПУ, а я, как Вы и сказали, распоряжением Правительства РФ назначен руководителем Комитета по проведению научно-технической экспертизы реализации дорожных карт. Могу сказать, что проблема импортозамещения инженерного ПО тоже в целом решается, созданы Индустриальные центры компетенций, выполняются особо значимые для промышленности проекты, на 19 проектов в 2023—2024 годах выделено около 30 млрд рублей.

Со своей стороны мы продолжаем активно развивать нашу Цифровую платформу по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench®, лицензии поставлены в ОДК, ОДК-Сатурн (ГК «Ростех»), «Центротех-Инжиниринг», «Прорыв», НИКИЭТ (ГК «Росатом»), Институт проблем безопасности развития атомной энергетики (ИБРАЭ) РАН, университетам СамГУ, ТюмГУ, БелГУ и другим организациям. Последовательно и на системной основе ведется интеграция с инженерным программным обеспечением российских вендоров: АО «Аскон», ООО «Тесис» (программная система FlowVision), ООО «Фидесис» (CAE-Fidesys), НТЦ «АПМ» (APM WinMachine), ООО «Вычислительная механика» («Универсальный механизм»), ООО «Тор» (Elcut), безусловно, запланирована ин-

теграция и с CAE-системой «Логос» РФЯЦ ВНИИЭФ. Так, например, программная система «Урания» в качестве ядра использует функциональные возможности нашей Цифровой платформы CML-Bench®. На базе CML-Bench® сотрудники ИБРАЭ РАН создали программные модули для управления расчетными и экспериментальными данными научных исследований в атомной энергетике, которые успешно прошли апробацию в АО «НИКИЭТ», АО «Прорыв» и АО «ОКБМ Африкантов» (ГК «Росатом»).

Так что, отвечая на Ваш вопрос, могу резюмировать: в настоящее время ни психологических, ни значимых правовых барьеров для цифровой трансформации, уверен, уже нет, проделана достаточно серьезная работа. Кадровый голод относительно инженеров-разработчиков, надеюсь, скоро тоже будет утолен, в том числе и прежде всего благодаря активной деятельности 50 ПИШ, созданных в стране. Опыт создания 50 ПИШ признан успешным, и по поручению президента Российской Федерации его предстоит масштабировать до 100 передовых инженерных школ в России. Болезненный вопрос импортозамещения инженерного ПО тоже активно обсуждается, и уже есть много достойных результатов.

— Вы являетесь крупным специалистом в области цифрового инжиниринга и компьютерных технологий. Какие задачи решают цифровые технологии применительно к промышленности? Какие отрасли промышленности уже не обходятся без цифровых двойников?

— Цифровой инжиниринг — а в нашем случае лучше уточнить: системный цифровой инжиниринг — это такой высокотехнологичный мультидисциплинарный наукоемкий подход к созданию объектов (изделий), который предполагает обеспечение жизненного цикла объекта (изделия) начиная с разработки, производства и с поддержанием непрерывной связи между физическим (реальным) миром и цифровым (виртуальным) пространством на этапе эксплуатации. Разработка высокотехнологичных изделий ведется на основе балансировки многоуровневой матрицы требований, целевых показателей и ресурсных ограничений с помощью программно-технологической платформы, предназначенной для разработки цифровых двойников изделий, и проведения цифровых (виртуальных) испытаний на цифровых (виртуальных) стендах и полигонах.

Если кратко охарактеризовать отличие новой парадигмы разработки от традиционной, можно сказать так: традиционный итерационный подход к разработке, производству опытных образцов и их испытаниям, то есть доводке изделий до необходимых требований через испытания — это, как правило, «дорого и долго». И чем сложнее объект разработки, тем больше сложностей будет на этом пути, называемых «долинами смерти». Вспомните, как выводились на рынок автомобили в «доцифровую» эпоху: спроектировали, построили прототип — пошли на испытательный полигон разбивать в краш-тестах, измерили ускорения, деформации, определили критические зоны — пошли переделывать. И потом снова по тому же

кругу. И таких итераций могло быть много, очень много, в итоге ожидаемый результат: «дорого и долго».

Цифровой инжиниринг позволяет уже в самом начале проекта заложить в него все необходимые данные по материалам и их физико-механическим свойствам, по стоимости и технологии производства, по потребительским свойствам продукта и т. д., сформировать систему взаимоувязанных компьютерных моделей путем балансировки матрицы требований и целевых показателей на основе проведения сотен, тысяч цифровых (виртуальных) испытаний, включая цифровые испытания на специализированных цифровых (виртуальных) стендах и полигонах. В этом случае цифровой двойник автомобиля «проедет» по цифровому полигону тысячи километров, цифровой двойник подвески отработает сотни часов по виртуальным ямам и ухабам, примет на себя все возможные виды внешних воздействий — и все это за год-два.

Проведение цифровых (виртуальных) испытаний, разумеется, не отменяет необходимости натурных сертификационных испытаний, но современные автомобили уже более десяти лет разрабатываются так, чтобы пройти реальные испытания с первого раза при отличии результатов цифровых испытаний от натурных не более, чем на 5 %. То есть цифровые двойники обеспечивают возможность вывода качественного продукта на конкурентный рынок за значительно меньшее время и с меньшими (на порядок) затратами ресурсов.

За одно десятилетие работы в новой парадигме проектирования у лидеров мирового автомобилестроения произошло радикальное изменение соотношения числа натурных и виртуальных испытаний: в 2007 году — примерно 100 к 100, а в 2017 году — уже 5 к 30 000.

Ответ на Ваш вопрос — в этих цифрах, особенно если рассматривать более сложное изделие, например, заменить автомобиль на газотурбинный двигатель или самолет. Мало того, что сделать даже один прототип двигателя или самолета — это очень дорого, но к тому же многие испытания, которые можно провести в цифровой среде, попросту невозможны в реальных испытаниях. Никто не будет отправлять лайнер в штопор, не станет выпускать стаю птиц, чтобы они попали в двигатель, не сможет и не станет «метать в него молнии»... Если же речь идет о еще более сложных объектах — например, атомном реакторе, то реализация таких аварийных ситуаций, как падение самолета на реакторный блок, окажется невозможной в принципе, в отличие от цифровой среды, где возможно детально моделировать, изучать и анализировать нарушения нормальных условий работы или аварийные ситуации.

Безусловно, чем сложнее объект разработки, тем выше потребность индустрии в инструментах цифрового инжиниринга. Именно поэтому в числе ключевых индустриальных партнеров Петербургского Политеха — госкорпорации «Росатом», «Ростех», Газпром, Газпром нефть и многие другие предприятия, играющие системообразующую роль в различных высокотехнологичных отраслях промышленности.

— Специалисты Научного центра мирового уровня «Передовые цифровые технологии» впервые применили методы цифрового инжиниринга и технологию цифровых двойников в разработке элементов подвижного состава железнодорожного транспорта. Работа ведется на базе уникальной отечественной разработки — Цифровой платформы разработки и применения цифровых двойников CML-Bench®. Расскажите об этой разработке. Какие эффекты дает применение технологии цифровых двойников на железнодорожном транспорте?

— Существующие инженерные методики расчетов в железнодорожном машиностроении были разработаны еще в середине XX века на основе опытных данных. Они имеют хорошую качественную сходимость (результаты компьютерного моделирования качественно совпадают с поведением реального объекта) для уже существующей техники, но для разработки новой техники часто оказываются неэффективными, так как не учитывают множества факторов, связанных с особенностями материалов и конструкций, нестационарных динамических условий и режимов эксплуатации подвижного состава, верхнего строения железнодорожного пути и специфических особенностей поведения нижнего строения пути.

Как я уже говорил, в основе технологии цифровых двойников лежит матрица требований, целевых показателей и ресурсных ограничений, позволяющая учитывать множество факторов, что сложно сделать без применения передовых цифровых технологий, математического и компьютерного/суперкомпьютерного моделирования.

Наши инженеры разработали архитектуру цифрового двойника экипажной части локомотива, создали математические и компьютерные модели составных частей тележки локомотива, верифицировали и валидировали их на основе экспериментальных данных, разработали более 40 цифровых (виртуальных) испытательных стендов и цифровой (виртуальный) испытательный полигон для проведения многочисленных цифровых испытаний и проверок соответствия элементов конструкции требованиям и целевым показателям, применили методы анализа видов и последствий потенциальных отказов конструкции, выполнили оценку стоимости жизненного цикла конструкции, основываясь на информации, генерируемой с помощью цифрового двойника изделия.

Кроме того, в рамках проекта разработаны новые математические мультидисциплинарные и компьютерные модели, обладающие высоким уровнем адекватности реальным материалам, конструкциям и нелинейным динамическим процессам эксплуатации, которые лежат в основе многовариантных цифровых испытаний, разработана система обмена данными между компьютерными моделями, сформированы автоматизированные расчетные цепочки, которые значительно сокращают общее время проектирования и моделирования, наконец, разработаны специализированные программные модули для сбора и обработки результатов многовариантного компьютерного моделирования на Цифровой платформе CML-Bench®.

Применение технологии цифровых двойников и российского программного обеспечения позволяет усилить экономический эффект по критериям качества, скорости и себестоимости разработ-

ки. Уже сейчас в результате применения технологий оптимизации достигается результат по обоснованному снижению металлоемкости различных частей конструкций тележек на 14 %, причем конструкция сохраняет свои габаритные ограничения, прочностные и ресурсные характеристики, но имеет меньшую массу, а значит, и материалоемкость.

Планируется дальнейшее совершенствование подходов к проектированию сложной железнодорожной техники, включая технику для высокоскоростных магистралей, и, конечно же, комплексная интеграция соответствующих виртуальных испытательных стендов на Цифровой платформе CML-Bench®.

— Вы являетесь инициатором создания и руководителем Передовой инженерной школы СПбПУ «Цифровой инжиниринг». В чем отличие инженерной школы от передовой инженерной школы?

— Когда в 2015 году на базе Инжинирингового центра СПбПУ создавался Институт передовых производственных технологий, мы заявляли о нем как об институте-лидере, реализующим модель подготовки «Университет 4.0», который на системной, регулярной основе решает фронтирные инженерные задачи, выполняет актуальные НИОКР для промышленности и активно участвует в формировании федеральной повестки, например, участвует в разработке и экспертизе Стратегий, Концепций, национальных стандартов, дорожных карт реализации мероприятий и развития приоритетных и сквозных высокотехнологичных направлений, утверждаемых ежегодно Правительством Российской Федерации.

Смысл такой подготовки инженеров состоит в том, что знания, опыт, компетенции нарабатываются студентами не столько на лекциях и семинарах, сколько в процессе выполнения реальных НИОКР по заказу индустриальных партнеров, причем, все это делается на Цифровой платформе CML-Bench®, которая обеспечивает работу сотен инженеров, включая магистров, обеспечивает преемственность поколений и фактически позволяет перейти к новой системе управления знаниями, проектами, компетенциями.

Сейчас на Цифровой платформе CML-Bench® представлено 325 тысяч цифровых и проектных решений для сотен проектов и десятков высокотехнологичных отраслей, включая математические, компьютерные и суперкомпьютерные модели, прошедшие верификацию и валидацию, результаты цифровых (виртуальных) испытаний, включая цифровые испытания на цифровых (виртуальных) испытательных стендах и полигонах. Естественно, магистранты и молодые инженеры могут получить доступ к результатам деятельности опытных инженеров, которые, вполне возможно, уже с нами не работают, но цифровая платформа обеспечивает цифровую преемственность поколений, передачу в цифровом виде результатов деятельности предшествующих поколений.

Мы отстаиваем и реализуем на практике эти идеи и подходы потому, что только так можно обеспечить действительно актуальные знания и навыки выпускника, так как цифровые и производственные технологии, а также процессы проектирования и про-

изводства сегодня развиваются стремительно, и за те несколько лет, что студент проводит на студенческой скамье, одни инструменты успевают устаревать, а другие, новые, появляются. Регулярно обновляются базы данных по материалам и их свойствам, выходят новые версии инженерного программного обеспечения, появляются совершенно новые технологии, новое оборудование и средства производства. Все это означает, что развиваемая нами модель требует фундаментальной физико-математической подготовки, знаний прикладных технических наук и вычислительных технологий, наконец, компетенций в области передовых цифровых и производственных технологий, ведь мы говорим о подготовке инженерной элиты, будущем «инженерном спецназе» — системных инженерах-разработчиках новых технологий и новой высокотехнологичной продукции.

Во многом федеральный проект «Передовые инженерные школы» (ПИШ) созвучен этой модели — с тем существенным дополнением, что ПИШ получает на конкурсной основе государственный грант на работу по выбранным приоритетным направлениям, представляющим интерес для индустриальных партнеров, поддержавших создание и развитие конкретной ПИШ. Роль индустриальных партнеров в федеральном проекте ПИШ чрезвычайно велика, как ни в каком другом федеральном проекте или проекте Минобрнауки. Во-первых, индустриальные партнеры формулируют фронтирные инженерные задачи и формируют перечень актуальных НИОКР, во-вторых, гарантируют частичное внебюджетное финансовое обеспечение ПИШ до 2030 года, в-третьих, выделяют кураторов из числа будущих работодателей, которые вместе с сотрудниками университета сопровождают магистрантов ПИШ в течение всего времени подготовки.

В нашей ПИШ каждый магистрант сопровождается двумя кураторами-наставниками: от университета, отвечающего за научно-образовательную составляющую, и от индустриального партнера, отвечающего за тематики НИОКР, в выполнении которых принимают участие магистры. Темы магистерских диссертаций полностью соответствуют актуальным научно-технологическим задачам предприятия. Работа над выполнением совместных НИОКР способствует интеграции мотивированных студентов в команду исполнителей проекта и одновременно в рабочие процессы предприятий-партнеров. В результате каждый студент магистратуры ПИШ СПбПУ получает возможность уже с первого курса участвовать в реальных НИОКР, имеет время, чтобы определиться, интересна ли ему предложенная тематика, или он видит направления, которые представляют для него больший интерес, в итоге, в случае успешного завершения обучения в магистратуре, выпускник ПИШ имеет гарантированный вариант трудоустройства. С другой стороны, индустриальный партнер ПИШ получает возможность привлекать молодых специалистов к выполнению актуальных НИОКР и участвовать в подготовке и отборе лучших студентов, которые уже на первом курсе магистратуры имеют возможность работать по совместительству на предприятиях партнеров университета.

Образовательная деятельность ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг» организована по «вытягивающей» модели, когда магистранты получают необходимые дополнительные знания в ходе выполнения НИОКР, представляющих фронтирные инженерные задачи по пяти ключевым направлениям: передовые цифровые технологии и кросс-отраслевые цифровые платформенные решения, системный цифровой инжиниринг в двигателестроении, цифровые технологии в атомной отрасли, цифровые технологии для ТЭК, новые материалы, в первую очередь композиционные материалы и технологии.

На базе реализованных НИОКР в 2023 году в ПИШ СПбПУ действовали 6 программ магистратуры с такими партнерами, как АО «ТВЭЛ», ПАО «Северсталь», АО «ОКАН», холдинг «Ленполиграфмаш» и Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова. Магистранты прошли стажировки на предприятиях госкорпорации «Росатом» (Уральский электрохимический комбинат и ООО НПО «Центротех»), госкорпорации «Ростех» (ОДК-Сатурн, ОДК-Климов, ОДК-Кузнецов), «Северсталь» (в Санкт-Петербурге и Череповце). Кроме того, разработаны еще 6 новых программ магистратуры совместно с Объединенной двигателестроительной корпорацией (ГК «Ростех»), «ЦКБ машиностроения», СПб филиалом АО «Атомэнергопроект» — «Санкт-Петербургский проектный институт» (ГК «Росатом») и ПАО «Газпром нефть».

Подходы к подготовке системных инженеров основаны на тех же принципах, по которым реализуются инженерные проекты: требования индустриальных партнеров к сотрудникам декомпозируются на набор компетенций, затем — на индикаторы и дескрипторы, после чего проводится валидация знаний и умений обучающихся на уровне конкретных математических и компьютерных моделей, технологий цифрового инжиниринга, цифровых испытаний / мультидисциплинарных инженерных расчетов, решенных тестовых, модельных и промышленных задач, выполненных проектов, что позволяет делать полноценный вывод о готовности специалиста к инженерной работе и его уровне компетенций, причем не декларируемых, а подтвержденных реальными результатами.

При этом Цифровая платформа CML-Bench® получила особый инструмент формирования и хранения «цифрового следа» деятельности студента, отражающего, какие задачи он решал в ходе обучения, в каком программном обеспечении, в каких областях научных знаний и для какой отрасли промышленности. В 2024 году лучшие выпускники ПИШ СПбПУ впервые получат соответствующий «цифровой сертификат» в качестве официального приложения к диплому.

Таким образом, реализуется очень эффективная модель, которую уже давно озвучивал и последовательно развивал министр науки и высшего образования России В. Н. Фальков: тесное взаимовыгодное сотрудничество университетов и промышленных предприятий, при котором индустриальный партнер силами сотрудников и студентов ПИШ получает решение своих актуальных научно-технологических задач, а студенты получают передовое инженерное образование при поддержке мощного индустриального партнера,

уникальные компетенции и гарантированно высокие позиции на рынке труда.

Важно подчеркнуть, что для эффективной работы и обучения в ПИШ создается специальная инфраструктура: научно-технологические и научно-образовательные пространства — инженерные коворкинги, оборудованные необходимыми высокопроизводительными вычислительными ресурсами, передовыми программными системами, экспериментальными установками и оборудованием. В ПИШ СПбПУ в 2023 и 2024 году открылось четыре таких пространства со стратегическими партнерами университета: одно — совместно с АО «ТВЭЛ», два — с АО «ОДК», одно — с ООО «Лаборатория «Вычислительная механика» (CompMechLab®) в области совместного развития и продвижения Цифровой платформы CML-Bench®, а также ее применения в таких сверхактуальных направлениях, как беспилотные летательные аппараты всех типов (самолетный, вертолетный, мультироторный и конвертоплан), беспилотный гидросамолет и безэкипажные катера.

Так, в 2023 году в ПИШ СПбПУ в инициативном порядке всего за 5 месяцев на Цифровой платформе CML-Bench® был «с нуля» разработан электрический БПЛА «Снегирь-1», спроектированный по гибридной схеме: вертикальный взлет и посадка и горизонтальный полет в самолетном режиме за счет отключения подъемных силовых установок. Конструкция БПЛА «Снегирь-1» (состав изделия) содержит 250 основных силовых элементов и 35 электромеханических и информационно-управляющих интеллектуальных подсистем. Характеристики БПЛА: размах крыла — 3,4 метра, максимальная взлетная масса — 10 кг (масса полезной нагрузки — 2 кг), максимальная скорость — 180 км/час, дальность полета — 200 км. На основе БПЛА «Снегирь-1» в настоящее время разрабатываются вариант «Снегирь-2» с увеличенной взлетной массой и дальностью полета, а также беспилотный гидросамолет «Анатида-1».

Всего в программе развития ПИШ СПбПУ предусмотрено создание 15 специальных научно-технологических образовательных пространств, включая 2 студенческих КБ (с АО «Силовые машины», СПб филиалом АО «Атомэнергопроект» — «Санкт-Петербургский проектный институт») и одно ОКБ в области беспилотной и безэкипажной техники, а также робототехники, включающее опытное производство и студенческое КБ.

Отдельными направлениями деятельности ПИШ СПбПУ являются мероприятия по ранней профориентации школьников и реализация программ дополнительного профессионального образования (ДПО) по заказам индустриальных партнеров. В 2023 году в рамках направления ДПО в ПИШ СПбПУ прошли обучение более 5 000 сотрудников компаний — партнеров СПбПУ: ПАО «ОАК», АО «ОДК», ПАО «Интер РАО», ПАО «Т Плюс», АО «ЦКБ морской техники «Рубин» и многих других.

Если резюмировать итоги работы нашей Передовой инженерной школы, то за полтора года своей деятельности ПИШ СПбПУ не только выполнила все взятые на себя обязательства, но и перевыполнила план по подготовке инженеров по программам дополнительно-

го профессионального образования более чем в 10 раз. За 2022—2023 годы по заказам партнеров выполнено НИОКР на сумму более чем 670 млн рублей, а по включенному в программу в 2023 году новому показателю — подготовка школьников — ПИШ СПбПУ превысила плановые показатели (150 школьников) в 3,5 раза.

Отмечу, что 23 июня 2023 года в СПбПУ состоялась торжественная церемония вручения дипломов первым 19 выпускникам ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг» с участием заместителя генерального директора — управляющего директора ПАО «ОДК-Сатурн», Героя Труда РФ Виктора Полякова, который является Почетным доктором Политехнического университета.

— В одном из выступлений Вы сказали, что общество должно умнеть быстрее искусственного интеллекта. Является ли повсеместное внедрение ИИ вызовом обществу? Какие компетенции должны приобретать люди, чтобы не проиграть искусственному интеллекту?

— Я уверен, что человек не проиграет искусственному интеллекту никогда. Если бы я думал иначе, я не занимался бы подготовкой системных инженеров, обладающих компетенциями в передовых цифровых технологиях. Мой опыт говорит о том, что некоторые инструменты, которые можно отнести к ИИ, несомненно, полезны и даже необходимы в инженерном деле. Более того, мы развиваем и внедряем эти элементы на нашей Цифровой платформе CML-Bench® — в том числе в рамках одного из направлений НЦМУ. Мы называем эти инструменты «интеллектуальными помощниками», которые берут на себя большой объем рутинных задач. Никакой даже самый опытный специалист не способен удержать в памяти, в фокусе внимания, например, тысячи параметров, характеристик, условий матрицы целевых показателей и ресурсных ограничений. Их предварительная балансировка с применением интеллектуальных помощников — очень полезный инструмент. Но именно предварительная балансировка. В основе наших разработок в области ИИ лежат полномасштабные мультидисциплинарные модели, большие данные, генерируемые в суперкомпьютерном моделировании, и экспериментальные данные, использование которых позволяет формировать с помощью машинного обучения и нейронных сетей такие типы ИИ-моделей, как редуцированные и суррогатные модели.

Инструменты ИИ демонстрируют хороший прогресс везде, где речь идет об исключении человеческого фактора, который может стать причиной ошибки. Однако ИИ — программный продукт, не способный на истинно креативное действие, у ИИ нет воли, вдохновения, озарения, интуиции — всего того, что есть у хорошего системного инженера. Так что я делаю ставку на мотивированного, талантливого, амбициозного, хорошо образованного человека, на системного инженера с широким профессиональным кругозором, на «инженерный спецназ», обладающий компетенциями мирового уровня в передовых цифровых и производственных технологиях.